

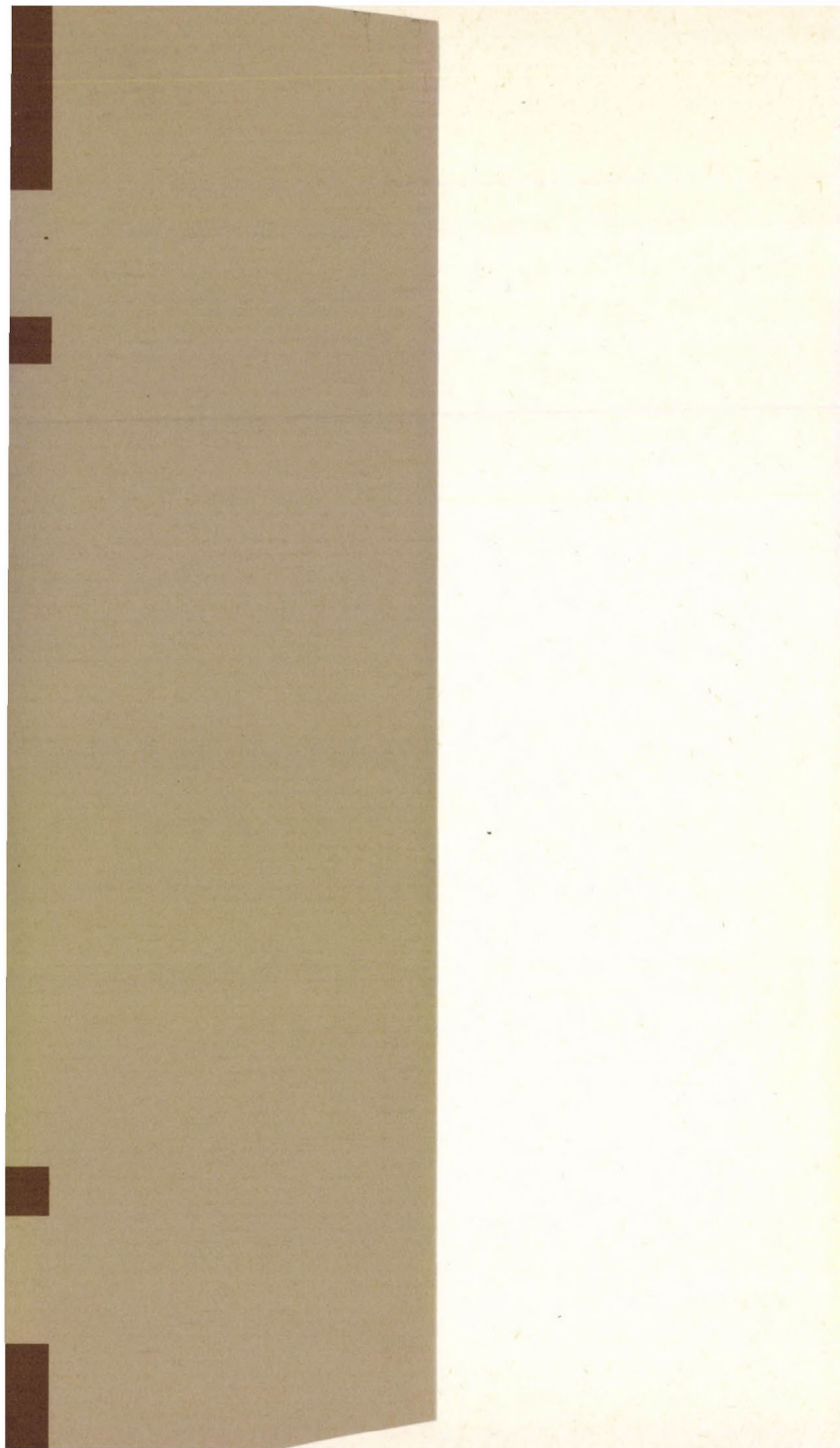
# ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

MÉSZÁROS ERNŐ

A LÉGKÖR ÖSSZETÉTELE ÉS  
AZ ELEMEEK BIOGEOKÉMIAI  
KÖRFORGALMA



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST



ÉRTEKEZÉSEK  
EMLÉKEZÉSEK

# ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

SZERKESZTI  
TOLNAI MÁRTON



MÉSZÁROS ERNŐ

# A LÉGKÖR ÖSSZETÉTELE ÉS AZ ELEMEEK BIOGEOKÉMIAI KÖRFORGALMA

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

1985. DECEMBER 9.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A kiadványsorozatban a Magyar Tudományos Akadémia  
1982. évi CXLII. Közgyűlése időpontjától megválasztott  
rendes és levelező tagok székfoglalói – önálló kötetben –  
látnak napvilágot.

A sorozat indításáról az Akadémia főtitkárának 22/1/1982.  
számú állásfoglalása rendelkezett.

ISBN 963 05 4344 3

© Akadémiai Kiadó, Budapest 1987, Mészáros Ernő

Printed in Hungary

## 1. Bevezetés: anyagforgalom és éghajlat

Az elemek a természetben állandó mozgásban vannak. Ez az anyagáramlás nemcsak adott földi szférán (atmoszféra, geoszféra, hidroszféra) belül, hanem a különböző szférák (anyag rezervoárok) között is jelentős. A geológiai korok folyamán az egyes rezervoárok egyensúlyba kerültek, ami azt jelenti, hogy meghatározott, de nem túlságosan rövid idő alatt a felvett és leadott anyagmennyiség megegyezik egymással. Tekintve, hogy az élővilág ebben a hatalmas áramlási rendszerben fontos szerepet játszik, az elemek globális mozgását biogeokémiai körforgalomnak nevezzük.

Az elemek biogeokémiai körforgalma az élőlények számára nemcsak tápanyagokat szolgáltat, hanem egyéb tényezőkkel együtt meghatározza a környezeti feltételeket is. A környezeti feltételekhez való alkalmazkodás az élővilág számára alapvető fontosságú. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a bioszféra nemcsak elszenved, hanem szabályozza is a környezeti viszonyokat. Erre jó példát szolgáltat a légkör, amely a bioszférával kölcsönhatásban alakult ki. A bioszféra hatására a levegő alapvetően különbözik a szomszédos bolygók légkörétől, amelyek elsősorban széndioxidot tartalmaznak. Ezzel szemben a Föld légkörében a szén-dioxid csak nyomgázként van jelen, viszont jelentős az oxigén nyomása.



Ráadásul, a földi viszonyokat figyelembe véve a nitrogén és oxigén ilyen arányú keveréke távol áll a fizikai-kémiai egyensúlytól. LOVELOCK és MARGULIS (1974) ezért a légkört egyenesen a bioszféra részének tekinti, amelyet az élővilág a saját szempontjából optimálisan működtet.

A légkör mint a legmozgékonyabb földi közeg, fontos szerepet játszik az elemek áramlásában. Ugyanakkor a biogeokémiai körforgalom biztosítja a légkör állandó összetételét és nyomását. Így az élőlények számára lehetővé válik, hogy a létezésükhöz szükséges anyagokat (pl. oxigén, nitrogén, víz, szén, kén stb.) a légkörből mindig fölvehessék. Az állandó összetétel azonban nemcsak ebből a szempontból elengedhetetlen. A légkör összetétele és vastagsága szabja meg ugyanis, hogy a Napból jövő energia mekkora hányada éri el a felszínt, illetve a Föld által kibocsátott hősugárzás milyen mértékben fordítódik a hőmérséklet emelésére. Egyszerűen a levegő, egyéb tényezőkkel együtt, a Föld éghajlatát is meghatározza, amely a környezeti feltételek egyik legfontosabb tényezője.

Mindebből egyértelműen következik, hogy az elemek biogeokémiai körforgalma tanulmányozásának igen nagy a jelentősége. Ezen a területen a tudomány az elmúlt két évtizedben hatalmasat lépett előre. A fejlődés fontos eredménye, hogy részben a meteorológián, részben a geokémián belül új tudományos



diszciplína alakult ki. Ez a diszciplína a levegőkémia, amelynek célja a körforgalom légköri részének vizsgálata. Az ilyen irányú kutatások egyrészt bebizonyították, hogy a légkör nem értelmezhető a többi földi szférában végbemenő folyamatok megismerése nélkül, másrészt, hogy a légköri vizsgálatok szervesen illeszkednek a föld-, sőt bizonyos értelemben a biológiai tudományokhoz is. Az új kutatási eredmények a meteorológia horizontját is szélesen kitágították. 20–25 évvel ezelőtt meteorológián a légkör fizikáját és dinamikáját értettük. Azóta kiderült, hogy a légkörben komplex kémiai folyamatok is végbemennek és ezek vizsgálata már csak azért is fontos, mivel — a rövid- és a hosszúhullámú sugárzásátvitellel való említett kölcsönhatás miatt — a kémiai összetétel a légkör fizikáját és dinamikáját is alapvetően befolyásolja.

A biogeokémiai körforgalom részletes vizsgálata azért is vált szükségessé, mivel az emberi tevékenység a különböző elemek ciklusát akarva (pl. műtrágyázás) vagy akaratlanul (pl. a környezet szennyezése) egyre inkább befolyásolja. A légkör esetén a szennyeződés hatása két szempontból is lényeges. Módosul egyrészt az összetétel és ezen keresztül az éghajlat, másrészt megváltozik a légkörből a többi földi szférába jutó anyagmennyiség. Az első lehetőségre a légköri szén-dioxid-szintjének növekedése, a másodikra a csapadékvíz hid-

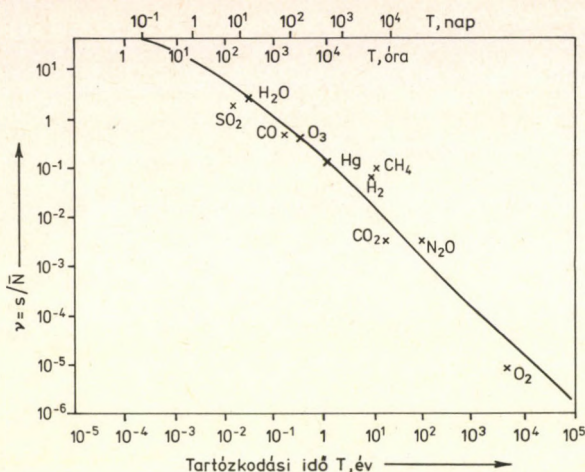
rogénion-koncentrációjának emelkedése („savas esők”) hívta fel a figyelmet.

## *2. Léggöri körforgalom: antropogén hatások*

Mint már említettük, a többi földi szférából részben gázfázisban, részben aeroszol részecskéként (tengeri só, talajpor, vulkáni hamu) különböző anyagok kerülnek a légkörbe. Ezek az anyagok a levegőben meghatározott időt töltenek (tartózkodási idő). Ez alatt az idő alatt a forrásoktól eltávolodva a légkörben elkeverednek és jelentős részük fizikai és kémiai változáson megy keresztül. Tekintve, hogy a légkör oxidatív közeg, ezek az átalakulások általában oxidációt jelentenek. Végül különböző, ún. nyelő folyamatok hatására elhagyják a légkört. A léggöri összetétel állandóságának feltétele a források és nyelők egyensúlya.

A források és nyelők kölcsönhatása különböző koncentrációkat és különböző tartózkodási időket alakít ki. A koncentráció és tartózkodási idő közvetlenül nem függ egymástól. Ugyanakkor a koncentráció változékonysága a tartózkodási idővel egyértelműen összefüggésbe hozható (JUNGE, 1974). Minél hosszabb a tartózkodási idő, annál kisebb az adott elem (vegyület) koncentrációjának tér- és időbeli változékonysága. Az 1. ábra JAE-NICKE (1984) alapján ezt az összefüggést mutatja be. Az ábra abszcisszáján a tartózkodási





**1. ábra:** Légköri gázok tartózkodási idejének ( $T$ ) és változékonyságának ( $v$ ) összefüggése. Az ordinátán  $s$  a koncentráció szórását, míg  $N$  az átlagos koncentrációt jelenti. Az ábrán a jelek méréseken alapulnak, míg a kihúzott görbe elméleti számítások eredménye

idő, míg az ordinátán a relatív szórás látható. A kihúzott görbe elméleti számítások eredménye. Látható, hogy kb. 1 évnél rövidebb tartózkodási idő esetén a változékonyság a tartózkodási idő négyzetgyökével arányos. Hosszabb tartózkodási időknél a két paraméter közötti kapcsolatot fordított összefüggés írja le.

A tartózkodási idő és a transzportidő összevetése is néhány fontos következtetés levonását teszi lehetővé. A transzportidő azt az időt jelenti, amely alatt a légkör vagy annak egy része adott irányba összekeveredik. Így a



troposzférában a vertikális transzportidő kb. 1 hónap. Ez azt jelenti, hogy az ennél hosszabb tartózkodási idejű légköri komponensek koncentrációja a troposzférában a magassággal nem változik. A horizontális transzportidő zonális irányban szintén 1 hónap. Ennek megfelelően a hosszabb tartózkodási idejű anyagok koncentrációja adott földrajzi szélesség mentén iskevessé változik. A két félgömb levegője közötti keveredési idő közel 1 év. Így 1 hónap és 1 év közötti tartózkodási idejű komponensek hemiszférikus léptékben homogén koncentrációval rendelkeznek. Egy évnél hosszabb élettartam esetén az egész troposzférában homogén eloszlás alakul ki. Ha valamely anyag tartózkodási ideje 10 évnél hosszabb, koncentrációja mind a troposzférában, mind a sztratoszférában azonos.

Ezek a megállapítások nemcsak elméleti értékűek, hanem az emberi tevékenységnek a légkörre gyakorolt hatása szempontjából is fontosak. Ha például fosszilis tüzelőanyagok elégetésével szén-dioxidot, vagy műtrágyázással dinitrogén-oxidot bocsátunk a levegőbe, akkor ún. globális légszennyeződést okozunk. Ezzel szemben a kéndioxid regionális, illetve kontinentális léptékű szennyezőanyagnak tekinthető. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a tartózkodási idő statisztikus fogalom. Minden esetben átlagértéket jelent. Így pl. a kibocsátott kén-dioxid-molekulák egy része a tartózkodási idő után is a levegőben marad és

I. táblázat: Különböző légköri nyomgázok  
biológiai és antropogén emissziója

Gáz	Biológiai forrás		Antropogén forrás	
	jellege	rel.erős- sége (%)	jellege	rel.erős- sége (%)
CO <sub>2</sub>	lélegzés, bomlás	96	tüzelés, erdőirtás	4
CH <sub>4</sub>	anaerob bomlás bélfermen- táció	95–98 (40–70)*	bányászat, ipar	2-5 (30–60)*
CO	metán oxidációja	50	tüzelés, közlekedés	50
N <sub>2</sub> O	nitrifikáció, denitrifi- káció	92	műtrá- gyázás, tüzelés	8
NH <sub>3</sub>	bomlás	90 (50)**	tüzelés	10 (50)**
NO <sub>2</sub>	nitrifikáció	50	tüzelés, közlekedés	50
SO <sub>2</sub>	szerves kén oxidációja	26	tüzelés	74
CCl <sub>3</sub> F	—	0	„spray”-k hordozója, hűtő-	100
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	—	0	folyadék	100

\*\* ha a rizstermesztést antropogénnek vesszük

\*\* ha az állattenyésztést antropogénnek vesszük



hozzájárul a globális háttér-légszennyeződéshez is.

Az emberi tevékenység hatása adott anyag légköri mennyiségétől is függ. Egyszerűen kiszámítható (WALKER, 1977), hogy ha az összes fosszilis tüzelőanyagot elégetnék, a légköri oxigénszint kevesebb, mint 2%-kal csökkenne. Ezzel szemben a légköri szén-dioxid-koncentráció tízszeresére növekedne, feltételezve, hogy az összes antropogén szén-dioxid molekula a levegőben marad. Mindez arra utal, hogy az emberi tevékenység jelentősen csupán az ún. nyomanyagok légköri koncentrációját változtathatja meg. Ezek közül sorol fel néhányat az *I. táblázat* (MÉSZÁROS, 1981), amelyben a részletek mellőzése nélkül megadjuk a biológiai és antropogén források (az összes felsorolt anyag ebből a két forráscsaládból származik) relatív erősségét és jellegét. Látható, hogy az emberi tevékenység teljes mértékben meghatározza a halogénezett szénhidrogének (a Dupont cég márkaneve szerint freonok) mennyiségét és jelentős mértékben megnöveli a szén-monoxid, nitrogén-dioxid és kén-dioxid emisszióját. Az emberi tevékenység szerepe azonban metánnál és ammóniánál is igen lényegessé válik, ha a rizstermesztést, illetve a háziállat-tenyésztést a biológiai kategóriából az antropogén kategóriába helyezzük. A szén-dioxidnál már ez a viszonylag kis antropogén hányad is felborította a természetes források és nyelők közötti egyensúlyt.



A szén-dioxid koncentrációja így a múlt század vége óta egyenletesen növekszik (MÉSZÁROS, 1981). A mérések szerint ugyancsak emelkedett a metán és a dinitrogén-oxid, valamint természetesen a halogénezett szénhidrogének koncentrációja is.

Az antropogén szén-dioxid, metán-, dinitrogén-oxid és freon kibocsátása azért veszélyes, mivel ezek a gázok, bár a rövidhullámú nap-sugárzást átengedik, a felszín által kibocsátott hosszúhullámú sugárzást ugyanakkor elnyelik, növelve így módon a hőmérsékletet („üvegházhatás”). Ráadásul a dinitrogén-oxid és a freonok a sztratoszferikus ózon elbontásában is fontos szerepet játszanak. A szén-monoxid és nitrogén-dioxid viszont a troposzférában ózont hoz létre, amely szintén elnyeli a hosszúhullámú sugárzást. A *II. táblázat* az említett, ún. optikailag aktív gázok éghajlati hatását mutatja. Mint látható, a modellszámítások eredményei szerint a szén-dioxid koncentrációjának megkétszereződése, amely a jövő század közepére várható, 2 °C átlagos hőmérsékletemelkedést eredményez. A többi gáz koncentrációváltozásának hatása külön-külön kisebb. Együttes hatásuk azonban összevethető a szén-dioxid okozta éghajlati változással.

A kén-dioxid, a nitrogén-dioxid és az ammónia közvetlenül nem befolyásolja az éghajlatot. Ezek a gázok azonban azon kívül, hogy a környezet savasodásában fontos szerepet játszanak, a légkörben aeroszolrészecskékké ala-

**II. táblázat:** A Föld átlagos hőmérsékletének növekedése ( $\Delta T$ ) az egyes nyomgázok koncentrációjának (C ppb-ben) változása következtében (WMO, 1982).  
Az első három gáz esetén a referencia a jelenlegi koncentrációt jelenti

Gáz	C <sub>referencia</sub>	C <sub>módosított</sub>	$\Delta T(K)$
CO <sub>2</sub>	330 × 10 <sup>3</sup>	660 × 10 <sup>3</sup>	2,0
N <sub>2</sub> O	300	600	0,3–0,6
CH <sub>4</sub>	1 500	3 000	0,3
CCl <sub>3</sub> F	0	1	0,15
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0	1	0,13
O <sub>3</sub> (troposzf.)	D*	2 × D	0,9

\* jelenlegi troposzférikus eloszlás

kulnak át, amelyek megváltoztatják a rövid-hullámú sugárzásátvitelt, valamint kondenzációs magvakként a csapadékképződési viszonyokat. Ebből a szempontból különösen fontosak a kénvegyületek, mivel az ún. troposzférikus háttéraeroszol, valamint a sztratoszférikus aeroszolréteg szulfátokból (kénsav, ammónium-szulfát) áll. Tekintve, hogy az eddig végzett hazai kutatások jelentős mértékben ehhez a témához kapcsolódtak, az elmondottakat a továbbiakban a kén példáján illusztráljuk. Előljáróban hangsúlyozzuk, hogy a lég-



köri jelentőségén túlmenően a kén, a szén és nitrogén mellett a növények számára is lényeges tápanyagként szolgál.

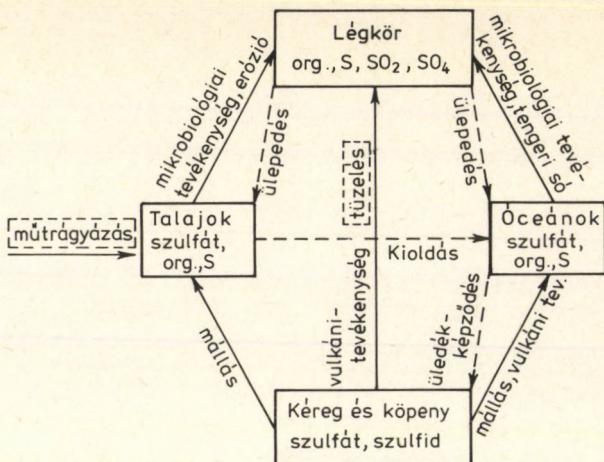
### *3. A kén körforgalma a természetben*

A 2. ábra sematikusan a kén globális körforgalmát ábrázolja. Az ábrán a különböző földi rezervoárokat, illetve a legfontosabb kénformákat tüntettük fel. A litoszférában a kén elsősorban szulfát és szulfid formájában van jelen. A kőzetek mállásakor a szulfát- és szulfidtartalmú anyagok a talajba és a folyók közvetítésével az óceánokba kerülnek. Közben a szulfid jelentős része oxidálódik. Másrészt a víz alatti vulkánkitörések is jelentős mennyiségű ként juttatnak az óceánokba.

Az óceánok sótartalmának nem elhanyagolható hányada szulfát. A tengeri só egy része permetképződéskor, illetve a vízben emelkedő gázbuborékoknak a felszínen való szétrobbanásakor a levegőbe kerül, ahol aeroszolrészecskéket alkot. Feltételezhető, hogy a tengerekből mikrobiológiai folyamatok hatására szerves kénvegyületek (pl. dimetil-szulfid) is felszabadulnak.

A talajban a szulfát részben tárolódik, részben a növények számára tápanyagforrásként szolgál. A szulfátredukáló baktériumok a szulfátot lebontják és a keletkezett illékony kén-gázok (pl. kén-hidrogén) a légkörbe diffundál-





2. ábra: A kén biogeokémiai körforgalma. A szaggatott oldalú téglalapok az emberi tevékenység hatására utalnak

nak. Ezen kívül a szélerózió is juttat por formájában kénvegyületeket a levegőbe.

A levegőben a redukált kén-gázok kén-dioxiddá, majd szulfáttá oxidálódnak, végül száraz és nedves ülepedéssel elhagyják a légköri rezervoárt. A légköri kén-dioxid egy részét a vulkanikus tevékenység szolgáltatja. A légkörben a víz és a kén ciklusa között igen szoros kapcsolat van. A felhőcseppek ugyanis túlnyomórészt ammónium-szulfát- és kénsavrészecskéken keletkeznek. Aeroszolrészecskék (kondenzációs magvak) nélkül nem lenne felhő- és csapadékképződés, míg csapadékképződés nélkül a kén (és sok más nyomelem) feldúsulna a légkörben. A kén tehát az élővi-

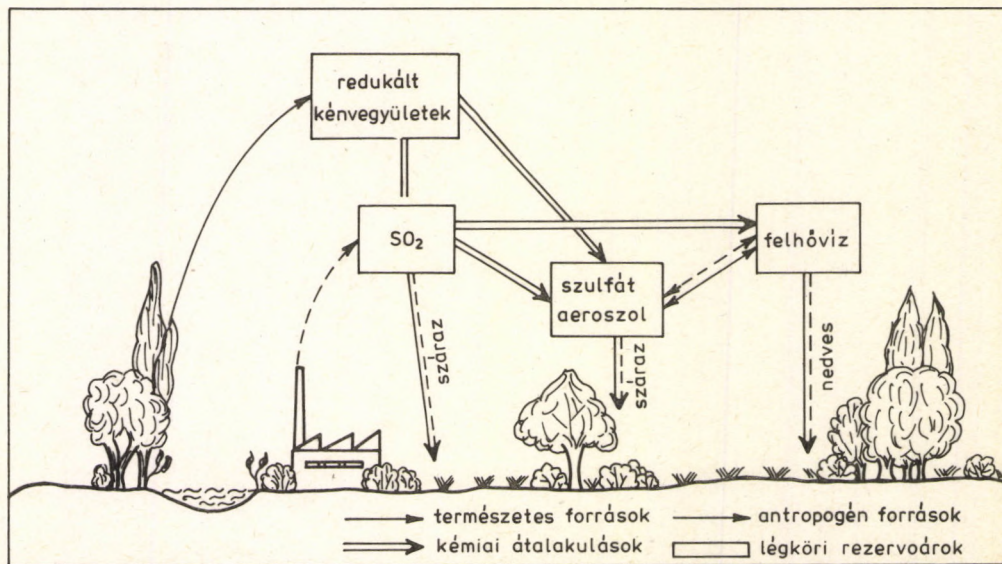
lág számára nemcsak egyszerűen tápanyagot jelent. A bioszféra „gondoskodik” arról, hogy a levegőbe kondenzációs magvak kerüljenek, azazhogy a talajok eső és hó formájában vízhez jussanak.

A légkörből kiüledő kén (szulfát) részben a talajokba, részben a tengerekbe, és végül is az üledékes kőzetekbe kerül vissza.

Az ember a kén körforgalmába két módon avatkozik be. Egyrészt a mezőgazdasági talajok műtrágyázásával, másrészt a kéntartalmú fosszilis tüzelőanyagok (szén, olaj) elégetésével, azaz a litoszférában tárolt kén mobilizálásával. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése következtében a levegőbe kén-dioxid kerül, amely befolyásolja az aeroszolképződést, illetve a talajra és a vizekre hulló csapadékvíz minőségét. Végül is a káros hatások sokszor a kibocsátás helyétől távol, a bioszférában jelentkeznek.

A 3. ábra a légköri rezervoárban végbemenő kénciklus elvi képét mutatja. Az eddig elmondottakat az ábra alapján a következőkkel egészíthetjük ki. Számos vizsgálat valószínűvé teszi, hogy a redukált kéngázok egy része közvetlenül szulfátaeroszollá alakul. Másrészt a felhők a levegőből jelentős mennyiségű kén-dioxidot abszorbeálhatnak, amelyből azután a vízben keletkezik szulfát. Amennyiben a felhőből csapadék hullik, akkor ez a szulfát-mennyiség a talajra jut. Ha a felhő elpárolog, akkor a felhőcseppekben oldott szulfát a leve-





3. ábra: A kénvegyületek légköri körforgalmának sematikus képe



gőben aeroszolrészecskéként marad vissza. A felhők tehát nemcsak nyelői a szulfátrészecskéknak, hanem létrehozói is.

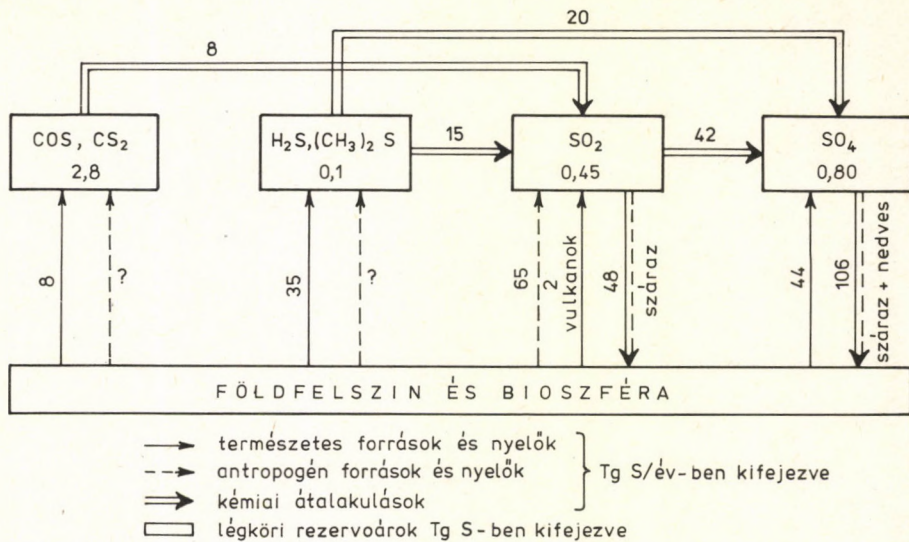
A kénkörforgalommal kapcsolatos levegőkémiai kutatások egyik feladata az oxidációs folyamatok részleteinek megállapítása. Ma már tudjuk, hogy ezekben az átalakulásokban a szabad gyökök ( $\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2$ ) meghatározó szerepet játszanak. Az említett szabad gyökök keletkezését bonyolult fotokémiai és termikus lépéseket tartalmazó reakciólánc szabályozza, amelynek kiinduló anyagai a nitrogén-monoxid, szén-monoxid és számos szerves vegyület. A kémiai reakciókkal kénsavgőz keletkezik, amely a vízgőzzel együtt kondenzálódik és aeroszolfázisba kerül. Amennyiben a levegőben ammóniagáz is van, a savcseppecskék ammónium-szulfáttá alakulnak át. A felhőcseppekben a kén-dioxidot a szintén elnyelt hidrogén-peroxid oxidálja, amely  $\text{HO}_2$ -gyökökből jön létre. Végül a kutatások azt is kimutatták, hogy az oxidáció aeroszolrészecské, elsősorban elemi szén (korom) felületén is végbemehet, amelynek aktív helyei katalizálják az átalakulást.

Másik fontos terület a kénvegyületek „kimosódási” folyamatainak nyomon követése, illetve modellezése. Ezeknek a vizsgálatoknak az a célja, hogy a felhő- és csapadékvíz összetételét kapcsolatba hozzuk a levegőben levő kén-dioxid és szulfát koncentrációjával. A kérdés igen bonyolult, mivel az összetétel a felhő

és csapadék mikro- és makrostruktúrájától is függ. Így ezen, a savas ülepedés okainak kutatása szempontjából oly fontos területen még számos tennivaló akad.

A kutatások végső célja természetesen a 3. ábrán nyilakkal jelzett folyamatok (emiszió, átalakulás, ülepedés) számszerű értékeinek kiszámítása. Fontos feladat az egyes vegyületek koncentrációeloszlásának és teljes légköri mennyiségének meghatározása is. A 4. ábra ilyen irányú vizsgálatainkat foglalja össze (MÉSZÁROS, 1981). Az ábrán a nyilak folyamatokat jelölnek, míg a téglalapokba írt számok a feltüntetett komponensek teljes légköri mennyiségét jelentik. Ezekből az adatokból a tartózkodási idő is egyszerűen kiszámítható. A már említett kénvegyületeken kívül az ábrán a karbonil-szulfidot és szén-diszulfidot is feltüntetettük (SZE és KO, 1980). A legújabb vizsgálatok szerint ugyanis ezek a legnagyobb koncentrációjú légköri kénvegyületek. Forrásaikat sajnos kevésbé ismerjük. Legvalószínűbb, hogy biológiai folyamatok hozzák őket létre, de nem elképzelhetetlen, hogy emissziójukban egyéb természetes (erdők, szavannák stb. égése), esetleg antropogén folyamatok is szerepet játszanak. Azt viszont elég nagy biztonsággal tudjuk, hogy a légkörben a hidroxilgyökök hatására elbomlanak. Nyelőik erőssége így koncentrációjukból, megfelelő reakciókinetikai adatok felhasználásával kiszámítha-





4. ábra: A kénvegyületek légköri körforgalma a numerikus értékek feltüntetésével



tó. Ebből, egyensúlyt feltételezve, forrásaik intenzitása is adódik.

Az ábrából kitűnik, hogy ha feltételezzük, hogy az összes redukált kénvegyület biológiai eredetű, akkor a teljes természetes kibocsátás 43 Tg S/év-vel egyenlő. Ez az érték 66%-a az antropogén emissziónak. Azt mondhatjuk tehát, hogy az emberi tevékenység máris többként juttat a légkörbe, mint az összes természetes forrás együttléve. Más szavakkal, a kén biogeokémiai ciklusát az emberi tevékenység jelentősen befolyásolja.

Az ábrán feltüntetett értékekből adódik, hogy a karbonil-szulfid és a dinitrogén-szulfid a többi redukált kéngházhoz képest viszonylag hosszú tartózkodási idővel rendelkezik. A karbonil-szulfid néhány hónapos tartózkodási ideje lehetővé teszi, hogy a sztratoszférába jusson és vulkánkitörésektől mentes időszakokban szabályozza a sztratoszferikus szulfát mennyiségét.

A kén-dioxid tartózkodási ideje rövid (kb. 2 nap), mivel a kén-dioxid-molekulák száraz ülepedéssel gyorsan elhagyják a légkört, illetve kémiai reakciókkal szulfáttá alakulnak át. Az átalakulás globális sebessége kb. 1%/óra nagyságú. Az is látható, hogy kéngházokból több szulfát képződik, mint amennyit az óceánok tengeri sóként a levegőbe bocsátanak. A teljes légkört tekintve a szulfát-kén tömege meghaladja a kén-dioxidként tárolt kén tömegét. Ez azért érdekes, mivel szennyezett levegőben

mindig fordított a helyzet. A tengeri só egy részétől eltekintve a szulfát elsősorban nedves ülepedéssel, a csapadékvízben oldva kerül vissza a többi földi szférába.

#### 4. Európai kénmérleg

A szárazföldek és az energiatermelés földrajzi eloszlása miatt az antropogén kén 90%-a az északi félgömb, 65%-a az Amerikai Egyesült Államok és Európa fölött kerül a levegőbe. Ebből nyilvánvalóan következik, hogy ezen a területen az emberi tevékenység hatása jóval jelentősebb, mint a teljes légkör esetén. Így igen célszerű a légköri kén ciklust kisebb léptékben is meghatározni.

A *III.* és *IV.* táblázat európai kénmérlegszámításaink eredményeit foglalja össze (MÉSZÁROS és VÁRHELYI, 1982). A *III. táblázatban* az antropogén és biológiai kén-dioxid-források erőssége, illetve a légáramlással (advекció) évente Európa fölé érkező kén-dioxid-kén mennyisége látható. Feltételezve, hogy ez utóbbi is természetes eredetű, egyszerűen kiszámítható, hogy Európa fölött a kén-dioxid 92%-a antropogén eredetű. Ez azt jelenti, hogy a szulfáttá alakuló mennyiségnek szintén 92%-a az emberi tevékenységnek köszönhető (9,48 Tg/év, lásd *IV. táblázat*), míg biológiai eredetű kéndioxidból évente 0,82 Tg kénnek megfelelő szulfát keletkezik. Ehhez jön hozzá



**III. táblázat: A kén-dioxid-kén légköri mérlege**  
Európa fölött. Az értékeket Tg/év kénben fejeztük ki

Forrás	Erősség	Nyelő	Erősség
Antropogén SO <sub>2</sub>	25	Ülepedés	17
SO <sub>2</sub> -advekcio	1,1	Átalakulás	10,3
Biológiai H <sub>2</sub> S	0,8		
Biológiai CS <sub>2</sub>	0,1		
Biológiai COS	0,04		
Biológiai DMS	0,28		
Σ	27,32		27,3

Az antropogén forrás relatív erőssége 92%

**IV. táblázat: A szulfát-kén légköri mérlege**  
Európa fölött. Az értékeket Tg/év kénben fejeztük ki

Forrás	Erősség	Nyelő	Erősség
Antropogén SO <sub>2</sub> -ból	9,48	Ülepedés	5,3
SO <sub>4</sub> -advekcio	1,0	Advekcio	6,3
Biológiai SO <sub>2</sub>	0,82		
Biológiai DMS	0,28		
Σ	11,58		11,6

Az antropogén forrás relatív erőssége 82%.



az advekcióval érkező, feltehetően természetes forrásokból származó szulfát, valamint a dimetilszulfidból (DMS) közvetlenül képződő szulfát-kén tömege. Végül is azt az eredményt kapjuk, hogy a szárazföldünk fölötti levegőben a szulfátrészecskék tömegének 82%-a antropogén kén-dioxid-átalakulásnak az eredménye. Vagyis más szavakkal: a légköri aeroszol lényeges hányadát kitevő szulfátrészecskék közül csak minden ötödik természetes eredetű. Emberi tevékenység nélkül tehát a jelenlegi koncentrációnak csak 20%-a lenne a levegőben.

Végül a *IV. táblázat*ból az is látható, hogy a kontinens levegőjét évente 6,3 Tg szulfát-kén hagyja el. Ez az Európa fölött a levegőbe kerülő kénnek kereken egynegyede. Ebből az következik, hogy az európai antropogén kénkibocsátás nem csak szárazföldünk levegőjét szennyezi, hanem befolyásolja az ázsiai levegő és csapadékvíz minőségét is.

### 5. Következtetések

A légkör gáznemű összetételét, a levegőben levő aeroszolrészecskék mennyiségét és minőségét az elemek biogeokémiai körforgalma határozza meg. A légkör viszont részt vesz a többi szféra minőségének és az élővilág környezeti feltételeinek alakításában. Az ember a különböző elemek körforgalmát egyre inkább

módosítja. Ez számos, nem kívánt következménnyel járhat. A káros következmények kikerülése, illetve csökkentése érdekében a jövőben fel kell oldanunk a termelés és a környezetvédelem ellentmondásait. Ennek megfelelően a tudományos kutatásnak mélyebben fel kell tárnia az emberi tevékenység és a környezet kölcsönhatásait. Véleményünk szerint ezért még nagyobb figyelmet kell szentelnünk az elemek biogeokémiai körforgalma tanulmányozásának és ezen belül jobban meg kell ismernünk a légkör összetételét, illetve fizikai és kémiai folyamatait szabályozó törvényeket.



- JAENICKE, R. (1984): Physical aspects of the atmospheric aerosol. *In: Aerosols and their climatic effects* (eds.: H. E. Gerber and A. Deepak) 7–34. A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia.
- JUNGE, C. (1974): Residence time and variability of tropospheric trace gases. *Tellus* 26, 477–488.
- LOVELOCK, J. E. and MARGULIS, L. (1974): Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis. *Tellus* 26, 2–10.
- MÉSZÁROS, E. (1981): Atmospheric chemistry. Fundamental aspects. Elsevier Publishing Co., Amsterdam, Oxford, New York.
- MÉSZÁROS, E. and VÁRHELYI, G. (1982): An evaluation of the possible effect of anthropogenic sulfate particles on the precipitation ability of clouds over Europe. *Időjárás* 86, 76–81.
- SZE, N. D. and KO, M. K. W. (1980): Photochemistry of COS, CS<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>SCH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S: implications for the atmospheric sulfur cycle. *Atmospheric Environment* 14, 1223–1239.
- WALKER, J. C. G. (1977): Evolution of the atmosphere. Macmillan Publ. Co. Inc. New York, London.



WMO (1982): Report of the Meeting of Experts on Potential Climatic Effects of Ozone and Minor Trace Gases. Boulder, 13–17 September.

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója

Felelős szerkesztő: Klaniczay Júlia

A tipográfia és a kötésterv Löblin Judit munkája

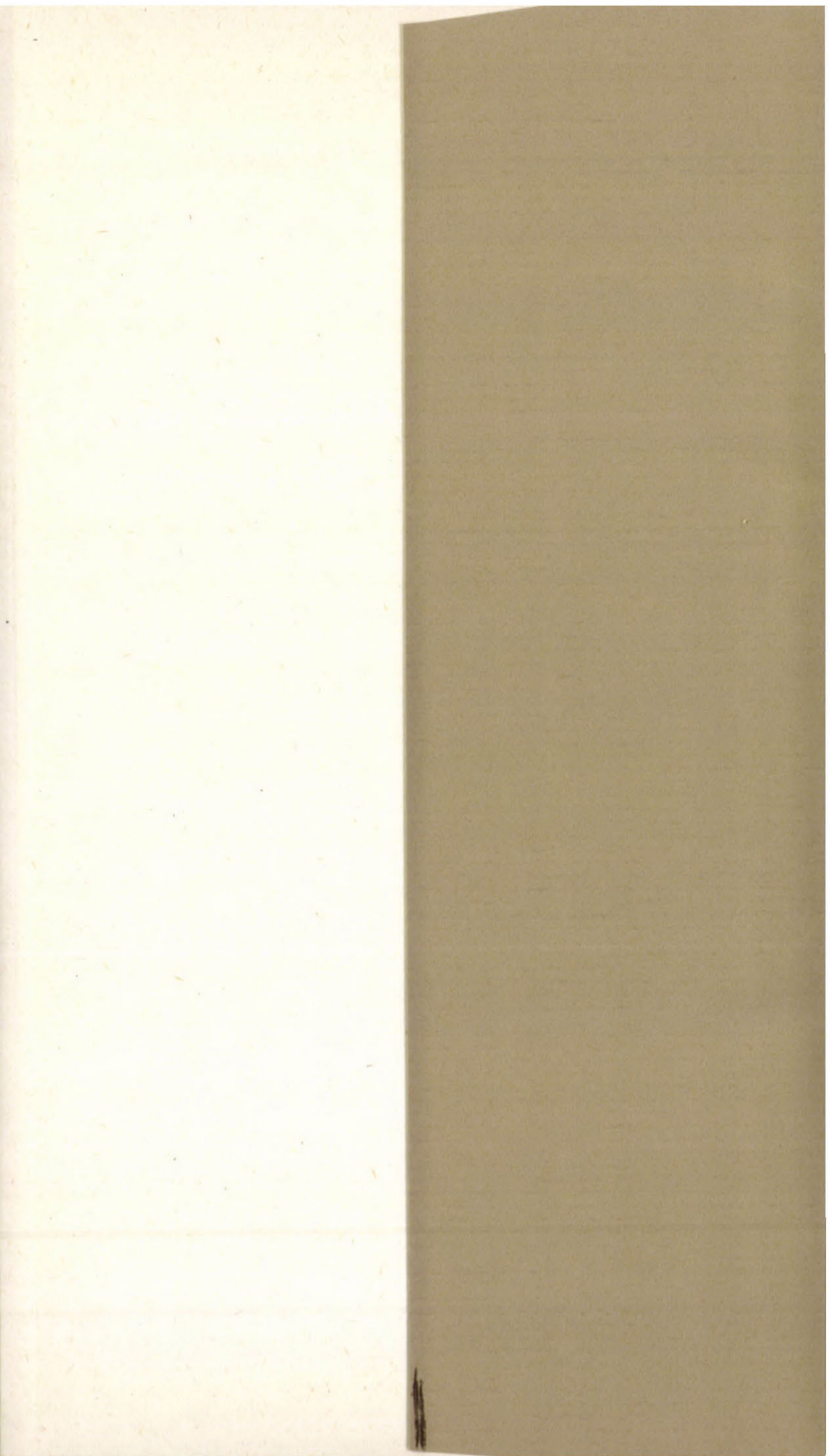
Műszaki szerkesztő: Kerek Imréné

Terjedelem: 1,38 (A/5) ív – AK 1933 k 8688

HU ISSN 0236-6258

15642 Akadémiai Kiadó és Nyomda

Felelős vezető: Hazai György



Ára: 14,- Ft